

# ÁP DỤNG THUẬT TOÁN QUY HOẠCH ĐỘNG SAI PHÂN RỜI RẠC CHO VÙNG KHÔNG GIAN GIẢI PHÁP CẬN TỐI ƯU TỪ THUẬT TOÁN DI TRUYỀN TRONG BÀI TOÁN VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐA HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN

Hồ Sỹ Mão, Hoàng Thanh Tùng

Trường Đại học Thủy lợi

**Tóm tắt:** Vận hành tối ưu các hệ thống có nhiều hồ chứa thủy điện hiện nay vẫn còn là vấn đề phức tạp do các thuật toán tối ưu hiện nay vẫn gặp nhiều hạn chế để có thể giải các bài toán hệ thống lớn. Vấn đề phức tạp ở đây chính là mất quá nhiều thời gian để chạy mô hình do vùng không gian giải pháp tối ưu quá lớn. Thuật toán di truyền (GA) có khả năng giải quyết các bài toán hệ thống lớn tuy nhiên cũng cần mất nhiều thời gian để có thể tìm được giải pháp tối ưu hoặc chỉ tìm được giải pháp cận tối ưu. Ngược lại, thuật toán quy hoạch động sai phân rời rạc (DDDP) dựa trên nguyên tắc của phương pháp quy hoạch động có thể tìm nghiệm cận tối ưu trong vùng không gian hẹp nhưng lại không thể tìm được trên vùng không gian quá rộng do vấn đề về chiều. Do đó có thể sử dụng thuật toán DDDP để tìm giải pháp cận tối ưu trong vùng không gian hẹp sau khi đã chạy bài toán bằng thuật toán GA để tạo vùng không gian đó. Bài báo này trình bày cách sử dụng thuật toán DDDP để cải thiện quỹ đạo mực nước vận hành cận tối ưu cho hệ thống hồ chứa thủy điện lớn.

**Từ khóa:** Hệ thống đa hồ chứa, thuật toán di truyền, thuật toán quy hoạch động sai phân rời rạc, thủy điện bậc thang.

**Summary:** The optimal operation of hydropower systems with multiple reservoirs remains a complex issue due to limitations in current optimization algorithms when dealing with large-scale systems. The main complexity lies in the significant time required to run models due to the vast solution space. While Genetic Algorithms (GA) show promise in solving large-scale system problems, they too demand considerable time to find optimal solutions, often settling for near-optimal ones. On the contrary, the Discrete Differential Dynamic Programming (DDDP) algorithm, based on the principles of dynamic programming, can find near-optimal solutions within a narrow solution space but struggles to do so in overly expansive spaces due to dimensionality issues. Therefore, utilizing DDDP to find near-optimal solutions within a narrow solution space after running the problem through GA to create that space may be beneficial. This paper presents the application of DDDP algorithm to improve the near-optimal water level trajectory for large hydropower reservoir systems.

**Keywords:** Multi-reservoir system, genetic algorithm, discrete differential dynamic programming algorithm, cascade hydropower.

## 1. GIỚI THIỆU

Các kỹ thuật tối ưu hóa trước đây thường sử dụng phương pháp tối ưu toán học trong các bài toán phân tích quản lý tài nguyên nước có thể phân thành ba nhóm chính: quy hoạch tuyến tính (LP), quy hoạch động (DP) và quy hoạch phi tuyến (NLP). Hầu hết các hệ thống tài nguyên nước đều có các tính chất phi tuyến

về hàm mục tiêu và điều kiện ràng buộc nên việc tính toán tìm giải pháp vận hành tối ưu các hồ chứa thường sử dụng phương pháp DP. Tuy nhiên các giải pháp DP thường áp dụng cho các hệ thống nhỏ với số lượng hồ chứa ít. Hiện nay, một số kỹ thuật tối ưu mới được phát triển phải kể đến là các kỹ thuật tối ưu Heuristic, kỹ thuật dựa trên trí tuệ nhân tạo AI và kỹ thuật tối ưu mờ. Một số kỹ thuật được sử dụng phổ biến như kỹ thuật GA, PSO, DE, ANN, ANFIS.

GA là một loại kỹ thuật tìm kiếm tối ưu dựa

Ngày nhận bài: 01/5/2024

Ngày thông qua phản biện: 21/5/2024

Ngày duyệt đăng: 03/6/2024

trên cơ chế chọn lọc tự nhiên và di truyền tự nhiên bắt nguồn trực tiếp từ thuyết tiến hóa tự nhiên. GA mô phỏng các cơ chế di truyền quần thể và các quy luật tồn tại tự nhiên nhằm theo đuổi các ý tưởng về sự thích nghi và sử dụng các vốn từ mượn từ di truyền học tự nhiên. GA là một phương pháp mạnh mẽ để tìm kiếm giải pháp tối ưu cho một bài toán phức tạp. Về cơ bản, nó là một cách tiếp cận thông minh tự động để tìm ra hướng giải quyết cho một bài toán, mặc dù đôi khi nó không dẫn đến giải pháp tối ưu tổng thể. Orero và Irving (1998) [1] giải quyết bài toán xác định lịch phát điện theo giờ tối ưu trong hệ thống thủy nhiệt điện. Gil và cộng sự (2003) [2] sử dụng kỹ thuật GA để giải quyết bài toán lập kế hoạch phát điện ngắn hạn cho các hệ thống thủy nhiệt điện. Modarres và cộng sự (2004) [3] giải quyết bài toán phối hợp vận hành hệ thống thủy nhiệt điện dài hạn với các hồ chứa thủy điện bậc thang và dòng chảy ngẫu nhiên bằng thuật toán di truyền GA. Zoumas và cộng sự (2004) [4] sử dụng thuật toán di truyền nâng cao EGA để giải quyết bài toán cho hệ thống điện ở Hy Lạp bao gồm 13 tổ máy thủy điện và 28 tổ máy nhiệt điện. Kumar and Naresh (2007) [5] đã giải quyết bài toán lập kế hoạch thủy nhiệt điện ngắn hạn dựa vào thuật toán di truyền mã hóa thực RGA với hàm chi phí liên tục và không lồi.

Kỹ thuật quy hoạch động được giới thiệu đầu tiên bởi Bellman (1957)[6] là một phương pháp tối ưu hóa dựa trên nguyên tắc tối ưu hình thành từ công thức của một số bài toán tối ưu hóa nhất định. DP đã được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng thành công để tối ưu hóa hệ thống tài nguyên nước, các hệ thống hồ chứa thủy điện và vận hành tối ưu các trạm phát điện trên hệ thống, tiêu biểu một số nghiên cứu ứng dụng gần đây như sau: Ferrero và cộng sự (1998) [7] tiếp cận kỹ thuật DP mới để lập kế hoạch dài hạn thủy-nhiệt điện của hệ thống nhiều hồ chứa. Mousavi (2002) [8] sử dụng kỹ thuật DP để giải quyết bài toán tối ưu hóa vận hành hệ thống nhiều hồ chứa đa mục tiêu. Zheng và cộng sự (2015) [9] áp dụng kỹ thuật Parallel DP để cải tiến quy trình tính toán đệ quy nối tiếp của thuật toán DP, mô

hình tính toán cho hệ thống thủy điện bậc thang sông Yalong, Trung Quốc. Li và cộng sự (2020) [10] sử dụng DP để phân phối lưu lượng tối ưu giữa các tổ máy thủy điện Baluchaung II, Myanmar. Hạn chế của thuật toán DP đó là yêu cầu rất lớn về bộ nhớ và thời gian thực thi. Việc áp dụng DP cho các bài toán có nhiều hơn 3 hồ chứa là vẫn là một nhiệm vụ đầy thách thức trên các máy tính ngày nay. Các biến thể của DP ra đời để khắc phục hạn chế về chiều của các bài toán hệ thống lớn. Đáng chú ý trong số này là quy hoạch động sai phân rời rạc DDDP. Đây là các kỹ thuật lập và bắt đầu với giả định về quỹ đạo thử nghiệm. DDDP được thiết kế đặc biệt để khắc phục vấn đề về chiều do DP đặt ra. Kỹ thuật này được sử dụng phương trình đệ quy giống DP để tìm kiếm giữa các biến trạng thái rời rạc trong miền trạng thái. Thay vì tìm kiếm tối ưu trên toàn bộ miền nghiệm trạng thái, việc tối ưu hóa chỉ giới hạn ở một phần của miền nghiệm trạng thái giúp tiết kiệm thời gian và bộ nhớ máy tính. DDDP được phát triển bởi Heidari và cộng sự (1971) [11] đã giải quyết bài toán 4 hồ chứa của Larson đưa ra năm 1968. Hairong và cộng sự (2018) [12] áp dụng thuật toán DDDP kết hợp với thuật toán LSDC để lập kế hoạch vận hành tối ưu các trạm thủy điện ba hệ thống sông bao gồm Mid-Jinsha, Yalong và Jinsha. Peng và cộng sự (2018) [13] nghiên cứu thuật toán quy hoạch động sai phân rời rạc màu xám GDDDP để tối ưu hóa vận hành hệ thống thủy điện bậc thang Baishan và Fengman ở phía đông bắc Trung Quốc.

Trong bài báo này tác giả muốn trình bày cách sử dụng hai thuật toán là GA và DDDP để giải quyết bài toán vận hành tối ưu cho hệ thống hồ chứa thủy điện lớn. Thuật toán GA sẽ được dùng để tìm quỹ đạo vận hành cận tối ưu ban đầu, có nghĩa là giới hạn vùng không gian nghiệm cho thuật toán DDDP. Sau khi đã có giới hạn vùng không gian nghiệm hẹp thì sử dụng thuật toán DDDP để tìm giải pháp tối ưu nhất trong vùng không gian đó. Với cách giải quyết này sẽ phát huy được hiệu quả của hai thuật toán cho hệ thống phức tạp.

## 2. CÁC THUẬT TOÁN TỐI ƯU

### 2.1. Thuật toán di truyền

GA mô phỏng các cơ chế di truyền quần thể, các quy luật tồn tại trong tự nhiên. GA đại diện cho một giải pháp bằng cách sử dụng chuỗi các biến quyết định cho bài toán. Trong sinh học các chuỗi như vậy được gọi là các nhiễm sắc thể (NST) hoặc là các cá thể. Mỗi NST là một giải pháp tiềm năng bao gồm các chuỗi con hoặc các gen đại diện cho các quyết định có thể được sử dụng để đánh giá hàm mục tiêu của bài toán. Các NST này được kết hợp thông qua các toán tử di truyền để tạo ra các NST nối tiếp nhau. Các toán tử di truyền được sử dụng trong quá trình sinh sản là sự chọn lọc, lai chéo và đột biến. Các NST trong quần thể có giá trị thể trạng tốt có khả năng được chọn lọc để tổ hợp với các NST có thể trạng tốt khác để tạo ra NST mới có các gen tốt. Qua các quá trình chọn lọc dựa trên giá trị thể lực các cá thể ở thế hệ sau sẽ tốt hơn cá thể bố mẹ. Toàn bộ quy trình GA được phép phát triển trong một số thế hệ đủ lớn và vào cuối quá trình tiến hóa, một NST đại diện cho một giải pháp tối ưu (hoặc cận tối ưu) cho bài toán sẽ thu được. Trong thuật toán GA, hàm đánh giá thể lực và các toán tử di truyền tạo nên tính ưu việt của thuật toán.

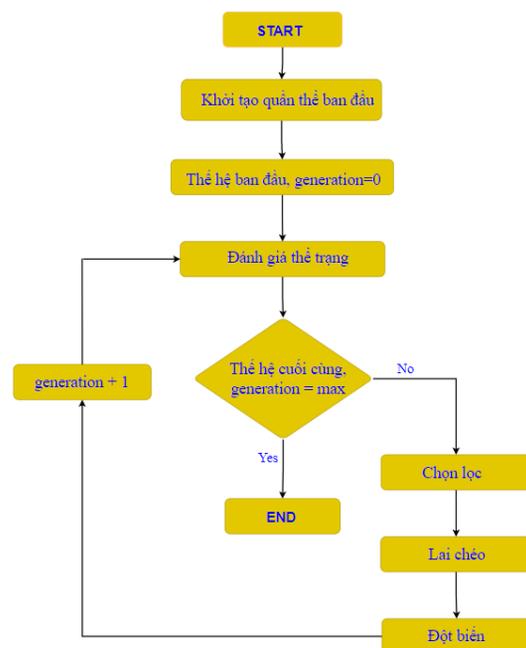
*Hàm đánh giá thể lực* (fitness function) thông thường là hàm mục tiêu của bài toán. Trong phương pháp di truyền giá trị của hàm đánh giá được dùng để đánh giá thể trạng của các NST để tham gia quá trình di truyền. Mỗi NST đều bao gồm các gen đại diện cho các biến quyết định được sử dụng để xác định giá trị thể lực của NST. Mục đích trong thuật toán di truyền là tạo ra NST tốt nhất mang lại giá trị hàm mục tiêu tối ưu, tức là giá trị thể chất tốt nhất vào thế hệ cuối cùng. Trong tính toán giá trị thể lực nếu các NST vi phạm các điều kiện ràng buộc của bài toán thì sẽ phải áp dụng hàm phạt để giảm trực tiếp giá trị thể lực của các NST đó.

*Chọn lọc* là quá trình mà các NST từ thế hệ trước được chọn cho thế hệ tiếp theo. Nguyên tắc lựa chọn trong các thuật toán di truyền về cơ bản tuân theo chọn lọc tự nhiên của Darwin [14].

Quá trình chọn lọc hướng tìm kiếm di truyền tới các vùng có triển vọng trong không gian giải pháp tối ưu. Hiện nay có nhiều phương pháp chọn lọc đã được đề xuất như lựa chọn tỷ lệ, lựa chọn giải đấu và lựa chọn xếp hạng.

*Lai chéo* là một trong những toán tử nổi bật được sử dụng trong các thuật toán di truyền. Quá trình lai chéo rất quan trọng trong việc tạo ra các NST mới bằng cách kết hợp hai hoặc nhiều NST cha mẹ với hy vọng rằng chúng tạo ra các NST mới và hiệu quả. Lai chéo xảy ra sau khi đã lựa chọn các cặp NST của cha mẹ và giúp trao đổi thông tin di truyền giữa cha mẹ để tạo ra con cái. Hiện nay có một số phương pháp thực hiện phép lai chéo: Single Point, Two Point và Uniform.

*Đột biến* đóng vai trò tương đối quan trọng trong việc tối ưu di truyền, nó giới thiệu các gen mới xuất hiện trong một quần thể của từng thế hệ. Các gen mới này có thể tạo nên giá trị thể trạng tốt cho NST. Đột biến xảy ra với một số xác suất rất thấp từ 0.001 đến 0.1 cho số lượng gen trong chuỗi. Trong mã hóa nhị phân, toán tử đột biến thay đổi giá trị của bit thành giá trị ngược lại, tức là 0 thành 1 hoặc 1 thành 0. Hiện nay, có nhiều phương pháp tạo toán tử đột biến trong đó phổ biến nhất là Uniform và Non-uniform.



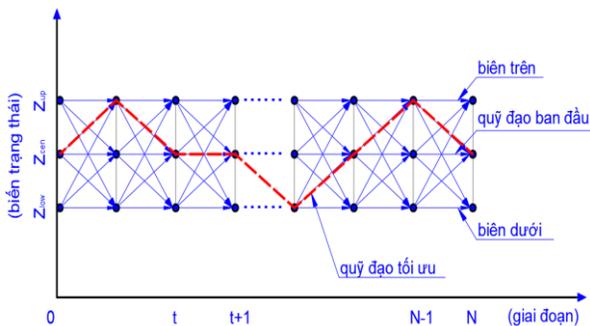
Hình 1: Lưu đồ thuật toán di truyền

Quy trình thực hiện thuật toán di truyền được thể hiện như Hình 1. Trong bài toán hệ thống hồ chứa thủy điện thì thuật toán GA được áp dụng để tìm được quỹ đạo mực nước của giải pháp cận tối ưu sau khi đã thực hiện thuật toán GA đến thể hệ cuối cùng. Quỹ đạo mực nước tìm được tuy chưa phải là giải pháp tối ưu tổng thể nhưng nó tạo ra một vùng không gian giải pháp cho thuật toán DDDP.

**2.2. Thuật toán DDDP**

DDDP bắt đầu với việc thiết lập quỹ đạo thử nghiệm ban đầu. Quỹ đạo là chuỗi các phép biến đổi của vectơ trạng thái trong toàn bộ chu kỳ với  $N$  giai đoạn của phép phân tích hệ thống. Một quỹ đạo là khả thi nếu nó thỏa mãn tất cả các điều kiện ràng buộc đặt ra đối với hệ thống và nó còn tối ưu hóa tiêu chí mục tiêu về hiệu suất của hệ thống. Ý tưởng việc lựa chọn quỹ đạo thử nghiệm ban đầu là cung cấp cho quá trình tìm kiếm quỹ đạo tối ưu, cả điểm bắt đầu và hành lang xung quanh quỹ đạo thử nghiệm nơi quỹ đạo tối ưu dự kiến sẽ xuất hiện.

Sau khi xác định được quỹ đạo thử nghiệm ban đầu, bước tiếp theo của quy trình DDDP bao gồm xây dựng một hành lang xung quanh nó, xác định các giá trị giới hạn của các biến trạng thái được sử dụng trong việc tối ưu hóa hệ thống. Trong quy trình này đầu tiên cần khởi tạo chiều rộng ban đầu của hành lang và cập nhật chiều rộng hành lang sau mỗi chu kỳ, tiếp đó là xây dựng hành lang xung quanh quỹ đạo thử nghiệm. Quy trình tính toán tìm quỹ đạo tối ưu trong hành lang được thiết lập giống phương pháp quy hoạch động với phương trình đệ quy (1) trong miền không gian biến trạng thái được thể hiện như Hình 2.



Hình 2: Không gian miền nghiệm trong hành lang

$$F_N(S_N) = \text{Max} [R_N(S_N, D_{N-1}) + \text{Max} \sum_{n=1}^{N-1} R_n(S_n, D_{n-1})] \tag{1}$$

Trong đó  $F$  là một hàm tổng hợp của các phép biến đổi hệ thống từ một vectơ trạng thái ban đầu  $S_0$  đến một vectơ trạng thái cuối  $S_N$  là kết quả của một chuỗi các vectơ quyết định  $D_0, \dots, D_{N-1}$ ; hàm  $R_n(S_n, D_{n-1})$  là hàm giá thu được do các quyết định chuyển trạng thái tại giai đoạn  $n$ .

Vùng nghiệm trong Hình 2 chính là vùng nghiệm được tạo ra từ quỹ đạo ban đầu được thiết lập từ thuật toán GA. Khác với thuật toán quy hoạch động là phải tìm giải pháp tối ưu trên toàn bộ không gian miền nghiệm của bài toán, trong khi với cách áp dụng kết hợp hai thuật toán GA và DDDP thì vùng giải pháp của quy hoạch động nằm trong không gian thu hẹp hơn nhiều. Do đó thời gian tính toán trong cách áp dụng này sẽ nhanh hơn rất nhiều so với cách áp dụng DDDP thông thường.

**3. HỆ THỐNG HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN**

Hệ thống hồ chứa thủy điện được áp dụng là hệ thống có 5 hồ chứa thủy điện bậc thang trên lưu vực sông Đà bao gồm Bản Chát, Huội Quảng, Lai Châu, Sơn La và Hòa Bình. Đây là hệ thống thủy điện lớn nhất ở Việt Nam và cũng được xếp vào các hệ thống hồ chứa thủy điện lớn trên thế giới với tổng dung tích điều tiết gần 15 tỷ  $m^3$  nước. Thông số các hồ chứa được trình bày trong Bảng 1.

Trong bài toán tối ưu hóa thì cần phải xác định được hàm mục tiêu của bài toán. Trong nghiên cứu này hàm mục tiêu của bài toán được chọn là tổng sản lượng phát điện hàng năm của hệ thống hồ chứa.

$$\text{Max } E = \sum_{i=1}^5 \sum_{t=0}^{11} 9.81 \eta_{i,t} Q_{i,t} H_{i,t} \Delta T_{i,t} \tag{2}$$

Trong đó điện năng  $E$  hàng năm ( $10^6$  kWh) là điện năng tổng từ 5 hồ chứa;  $i$ -chỉ số hồ chứa trong mô hình;  $t = 0 \div 11$  tương ứng với số tháng trong 1 năm;  $\eta_{i,t}$  hiệu suất tuốc bin;  $Q_{i,t}$  lưu lượng xả ra từ tuabin thủy điện hồ  $i$  trong giai đoạn  $t$  ( $m^3/s$ ); và  $H_{i,t}$ , cột nước phát điện của thủy điện hồ  $i$  trong giai đoạn  $t$  (m);  $\Delta T_{i,t}$  thời gian phát điện trong giai đoạn  $t$  của hồ  $i$  (giờ).

**Bảng 1: Thông số chính hệ thống thủy điện trên sông Đà**

Hồ chứa	Bản Chất	Huội Quảng	Lai Châu	Sơn La	Hòa Bình
Diện tích lưu vực (Km <sup>2</sup> )	1929	2824	26000	43760	51700
MNDBT (m)	475	370	295	215	117
MNC (m)	431	368	265	175	80
Dung tích toàn bộ (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	2137.7	184.2	1215.1	9260	9862
Dung tích chết (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	435.3	167.9	415.0	1756.4	3800
Dung tích điều tiết (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1702.4	16.3	799.7	6503.6	6062
Công suất lắp máy (MW)	220	520	1200	2400	1920
Điện năng trung bình (GWh)	770	1904	4670	9282	10492

Hệ thống có 5 hồ chứa được quy định trong sơ đồ trong Hình 3 bao gồm hồ 1-Lai Châu, hồ 2- Bản Chất, hồ 3-Huội Quảng, hồ 4-

Sơn La, và hồ 5- Hòa Bình. Phương trình liên tục được biểu diễn như sau:

$$\begin{pmatrix} S_1(t+1) \\ S_2(t+1) \\ S_3(t+1) \\ S_4(t+1) \\ S_5(t+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \\ S_3(t) \\ S_4(t) \\ S_5(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_1(t) \\ I_2(t) \\ I_3(t) \\ I_4(t) \\ I_5(t) \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R_1(t) \\ R_2(t) \\ R_3(t) \\ R_4(t) \\ R_5(t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Trong đó  $S_{i,t}$ ,  $I_{i,t}$ ,  $R_{i,t}$  tương ứng là dung tích hồ chứa, dòng chảy vào hồ, lượng xả ra khỏi hồ chứa  $i$  tại giai đoạn  $t$ ;  $S_{i,t+1}$  là dung tích hồ chứa tại giai đoạn tiếp theo;  $M$  là ma trận hệ số thể hiện dòng chảy vào hoặc ra khỏi hồ chứa.

- Điều kiện ràng buộc về dung tích, mực nước:

$$S_i^{min} \leq S_{i,t} \leq S_i^{max} \quad (4)$$

$$Z_{i,t}^{min} \leq Z_{i,t} \leq Z_{i,t}^{max} \quad (5)$$

Trong đó  $S_i^{min}$ ,  $S_i^{max}$  tương ứng là dung tích tối thiểu và dung tích toàn phần của hồ chứa  $i$ ;  $Z_{i,t}^{min}$ ,  $Z_{i,t}^{max}$  tương ứng là mực nước tối thiểu và tối đa của hồ chứa  $i$  ở thời đoạn  $t$ .

- Điều kiện ràng buộc về lưu lượng xả:

$$Q_i^{min} \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{max} \quad (6)$$

$$Q_{i,t} \geq Q_{i,t}^{yc} \quad (7)$$

Trong đó  $Q_i^{min}$ ,  $Q_i^{max}$  tương ứng là lưu lượng xả qua tuốc bin tối thiểu và tối đa của hồ chứa  $i$ . Ngoài ra  $Q_{i,t}$  phải thỏa mãn đường cong đặc tính vận hành lưu lượng của tuốc bin hồ  $i$ ;  $Q_{i,t}^{yc}$  là lưu lượng xả yêu cầu hàng tháng của hồ chứa  $i$ , nó phụ thuộc vào nhu cầu lợi dụng tổng hợp nguồn nước cho các mục đích khác

- Điều kiện ràng buộc về công suất:

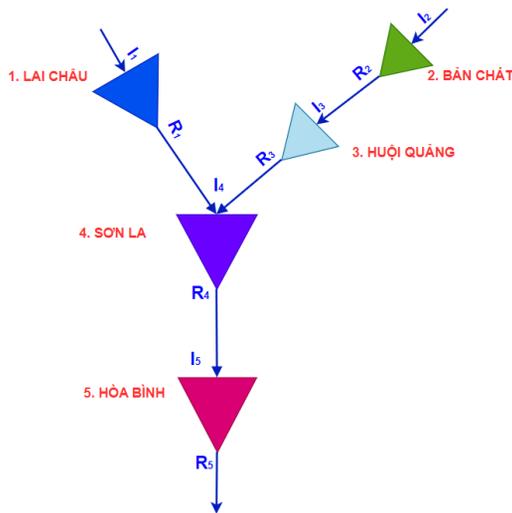
$$N_i^{min} \leq N_{i,t} \leq N_i^{max} \quad (8)$$

Trong đó  $N_i^{min}$ ,  $N_i^{max}$  tương ứng là công suất phát tối thiểu và tối đa của nhà máy thủy điện hồ chứa  $i$ . Ngoài ra  $N_{i,t}$  phải thỏa mãn đường cong đặc tính vận hành của tuốc bin thủy điện hồ  $i$ .

#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

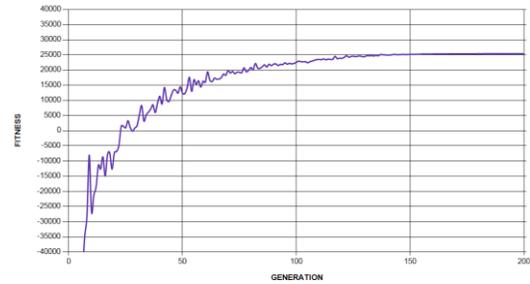
Đối với bài toán hệ thống hồ chứa sử dụng thuật toán GA thì hàm ngẫu nhiên khởi tạo giá trị thực giữa các giới hạn dưới và trên tương ứng với lưu lượng phát điện từ nhỏ nhất đến lớn nhất của từng nhà máy thủy điện, do đó đảm bảo các biến quyết định được gán là các biến liên tục và bao phủ toàn bộ không gian tìm kiếm. Số lượng gen trong NST phụ thuộc vào số lượng các hồ chứa và các bước thời gian được tính toán trong mô hình. Trong bài toán này có 5 hồ chứa được tính toán với 12 bước thời gian tương ứng 12 tháng trong năm thì có 60 biến quyết định tương ứng với 60 gen trong NST. Trong các bài toán vận hành tối ưu hồ chứa thì cần phải tính toán cho chuỗi năm để tính toán giá trị tối ưu trung bình nhiều năm về sản lượng phát điện hàng năm. Trong bài báo này để làm rõ sự cải thiện quỹ đạo mực

nước tối ưu bằng thuật toán DDDP cho 5 hồ chứa nên nghiên cứu chọn năm tính toán là năm trung bình nước (P=50%) tương ứng với năm 1970.



Hình 3: Mô hình hệ thống hồ chứa thủy điện trên lưu vực sông Đà

Trong bài toán này kích thước quần thể được chọn là 1000 để có thể duy trì mức độ đa dạng di truyền mong muốn cho các quần thể ban đầu và các quần thể tiếp theo. Các toán tử di truyền như chọn lọc, lai chéo, đột biến có mục tiêu nhằm thực hiện đa dạng hóa quần thể ở thế hệ tiếp theo bằng cách là chọn lọc các gen và các NST bố mẹ có giá trị thể lực tốt, sau đó thực hiện lai chéo hay trao đổi gen giữa 2 NST bố mẹ để cho ra NST con có bộ gen tốt hơn, đột biến giúp cho NST làm mới các gen theo một xác suất nhỏ để tạo ra các gen mới khác với các gen của bố mẹ. Xác suất lai chéo được chọn là 0.7 phù hợp với nhiều bài toán di truyền đã được áp dụng. Xác suất đột biến tương ứng với khoảng một gen đột biến trên mỗi NST đã được xem xét với xác suất đột biến là 0.02. Thuật toán GA thực hiện tìm kiếm các giải pháp tối ưu cải thiện qua từng thế hệ, mỗi một thế hệ nó tìm ra được một giải pháp tốt nhất, các giá trị thể lực tốt hơn luôn được tìm thấy ở các thế hệ tiếp theo cho đến khi các yếu tố di truyền hiện có không thể cải thiện thêm giá trị thể lực thì có thể dừng lại. Trong bài toán này số lượng thế hệ được chọn là 200, sự thay đổi hàm thể lực qua từng thế hệ được thể hiện trong Hình 4.

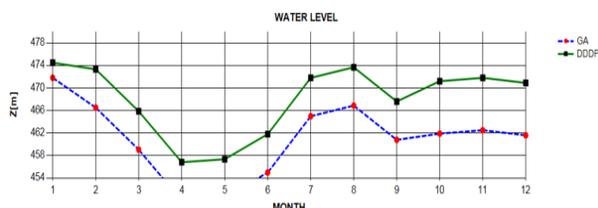


Hình 4: Sự thay đổi giá trị hàm fitness theo thế hệ

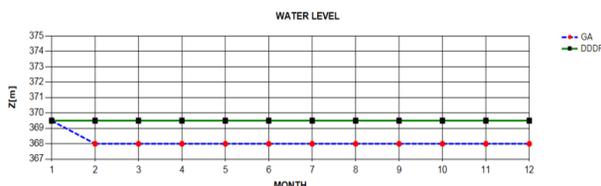
Thuật toán GA cập nhật giá trị hàm mục tiêu qua từng thế hệ, các thế hệ ban đầu thường cho giá trị thể lực rất thấp (giá trị âm) bởi vì các NST được khởi tạo ngẫu nhiên các biến quyết định nên sẽ vi phạm nhiều ràng buộc trong tính toán giá trị thể lực do đó các hàm phạt được áp dụng trực tiếp vào các hàm thể lực làm cho giá trị thu được nhỏ. Thông qua các toán tử di truyền như chọn lọc, lai chéo, đột biến thì các thế hệ tiếp theo các giá trị thể lực được cập nhật nhanh chóng. Hình 4 cho thấy trước thế hệ 100, các giá trị thể lực liên tục được cập nhật và biến thiên không theo một quy luật nhất định, đường cong fitness có độ dốc lớn, sau thế hệ 100 đến 150 xu hướng cập nhật giá trị thể lực giảm dần, sau thế hệ 150 các đường cong gần như hội tụ tạo thành đường thẳng. Điều đó cho thấy với số thế hệ 200 được chọn là hợp lý, và không cần phải chọn tăng thêm vì ảnh hưởng đến thời gian tính toán. Do không có sự cải thiện thêm về giá trị fitness nên ở thế hệ cuối cùng sẽ tìm được giải pháp cận tối ưu cho bài toán hay là tìm được quỹ đạo mực nước cận tối ưu tương ứng với đường quỹ đạo nét đứt trong các Hình 5-9. Các quỹ đạo này được sử dụng làm quỹ đạo ban đầu và hình thành nên vùng không gian nghiệm cho thuật toán DDDP.

Thuật toán DDDP bắt đầu với xây dựng hành lang không gian biến trạng thái xung quanh quỹ đạo ban đầu (quỹ đạo được thiết lập ở thế hệ cuối GA). Chiều rộng hành lang ban đầu được thiết lập tùy thuộc vào số chu kỳ tính toán, nếu số chu kỳ nhỏ thì nên chọn chiều rộng hành lang nhỏ, ngược lại chu kỳ lớn thì chọn chiều rộng lớn để tăng vùng không gian nghiệm. Hành lang ban đầu được thiết lập từ quỹ đạo ban đầu với các phần tử  $[Z_1, \dots, Z_{12}]$ , mỗi phần tử  $Z$  trong quỹ đạo thiết lập véc tơ

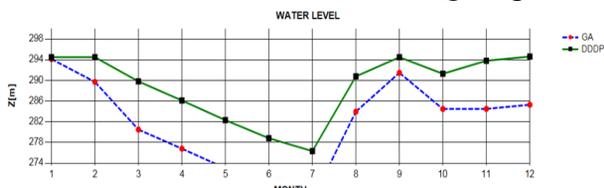
(upper, central, lower) trong đó upper là quỹ đạo bên trên, central là quỹ đạo trung tâm, lower là quỹ đạo bên dưới. Với quỹ đạo ban đầu được xây dựng từ GA, các quỹ đạo ở các chu kỳ tiếp theo sẽ được DDDP cập nhật cho đến chu kỳ cuối cùng. Sau khi khởi tạo xong hành lang ban đầu thì thuật toán DDDP thực hiện tính toán giá trị mục tiêu và cập nhật mục tiêu theo từng chu kỳ. Sau khi kết thúc một chu kỳ, thì quỹ đạo nào cho giá trị mục tiêu tốt nhất sẽ được chọn làm quỹ đạo của hành lang tiếp theo. Chiều rộng hành lang ở các chu kỳ tiếp theo được giảm nhỏ so với chu kỳ trước theo một tỷ lệ cho trước. Quy trình tính toán tiếp tục cho đến khi kết thúc chu kỳ tính toán.



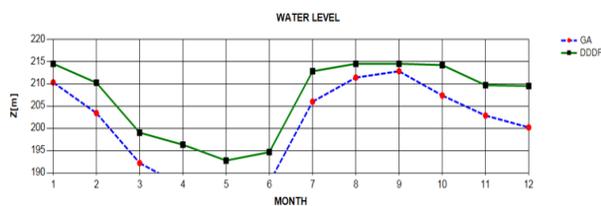
Hình 5: Mực nước hồ Bản Chát



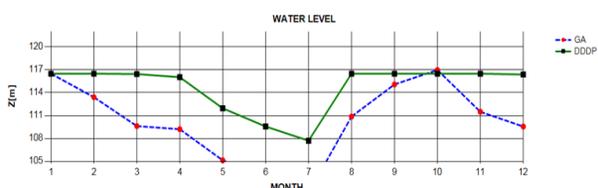
Hình 6: Mực nước hồ Huội Quảng



Hình 7: Mực nước hồ Lai Châu



Hình 8: Mực nước hồ Sơn La



Hình 9: Mực nước hồ Hòa Bình

So sánh quỹ đạo tối ưu của DDDP và GA của các hồ chứa cho thấy đường quỹ đạo DDDP thường nằm cao hơn đường quỹ đạo GA vào các tháng mùa kiệt, và nằm gần đường quỹ đạo GA ở các tháng mùa lũ. Nguyên nhân là vì quỹ đạo GA có xu hướng bám sát đường giới hạn dưới của biểu đồ điều phối của các hồ chứa để tránh vi phạm ràng buộc về dung tích, chính điều này làm cho mực nước hồ xuống thấp trong quá trình vận hành làm giảm công suất phát điện khả dụng của các hồ chứa trong mùa kiệt. Trong quá trình tính toán quỹ đạo DDDP có xu hướng tiến lên phía trên để vào vùng làm việc tối ưu của biểu đồ điều phối các hồ chứa, với chu kỳ tính toán càng nhiều thì quỹ đạo tối ưu tiếp tục được cải thiện để có thể tiếp cận được quỹ đạo tối ưu tổng thể của bài toán nhưng như thế sẽ làm cho thời gian tính toán tăng lên. Trong điều kiện cho phép về thời gian tính toán thì số chu kỳ được lựa chọn hợp lý để thu được giá trị cận tối ưu chấp nhận được của bài toán.

Trong chu kỳ tính toán cuối cùng của thuật toán DDDP thì các giá trị cận tối ưu về hàm mục tiêu của bài toán được tìm thấy. Trong bài toán này giá trị hàm mục tiêu chính là tổng sản lượng điện của năm 1970 cho hệ thống 5 hồ chứa của thuật toán DDDP trong chạy mô hình tối ưu là 28431 GWh > 25000 GWh do thuật toán GA. Điều đó cho thấy sự cải thiện quỹ đạo mực nước làm tăng giá trị sản lượng điện mục tiêu trong năm.

### 5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày cơ sở áp dụng thuật toán tối ưu GA và DDDP vào hệ thống đa hồ chứa thủy điện bậc thang. Tính toán áp dụng cho hệ thống hồ chứa lớn gồm 5 hồ chứa thủy điện trên lưu vực sông Đà là Bản Chát, Huội Quảng, Lai Châu, Sơn La và Hòa Bình. Để áp dụng được thuật toán DDDP cho hệ thống lớn thì cần thiết phải xây dựng được vùng không gian nghiệm cận tối ưu từ thuật toán GA. Kết quả tính toán cho hệ thống đối với năm trung bình nước cho thấy quỹ đạo mực nước các hồ chứa được cải thiện sau khi áp dụng DDDP và giá trị hàm mục tiêu thu được tăng so với GA. Điều đó cho thấy rằng đối với các bài toán hệ

thông lớn gồm nhiều hồ chứa thì sự kết hợp giữa thuật toán GA và DDDP là giải pháp hiệu quả để tìm ra giải pháp cận tối ưu trong khi các

phương pháp thông thường gần như rất khó khả thi về thời gian thực thi của máy tính.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Orero and M. Irving, "A genetic algorithm modelling framework and solution technique for short term optimal hydrothermal scheduling," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 501-518, 1998.
- [2] E. Gil, J. Bustos, and H. Rudnick, "Short-term hydrothermal generation scheduling model using a genetic algorithm," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 18, no. 4, pp. 1256-1264, 2003.
- [3] M. Modares, F. Ghasemi, and Z. D. Farokh, "Solving the long-term hydro-thermal coordination problem with a special genetic algorithm," *Iranian Journal of Science & Technology*, vol. 28, no. B2, pp. 201-216, 2004.
- [4] C. E. Zoumas, A. G. Bakirtzis, J. B. Theocharis, and V. Petridis, "A genetic algorithm solution approach to the hydrothermal coordination problem," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1356-1364, 2004.
- [5] S. Kumar and R. Naresh, "Efficient real coded genetic algorithm to solve the non-convex hydrothermal scheduling problem," *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, vol. 29, no. 10, pp. 738-747, 2007.
- [6] R. Bellman, *Dynamic programming*. Princeton,: Princeton University Press, 1957, pp. xxv, 342 p.
- [7] R. Ferrero, J. Rivera, and Shahidehpour, "A dynamic programming two-stage algorithm for long-term hydrothermal scheduling of multireservoir systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 13, no. 4, pp. 1534-1540, 1998.
- [8] S. Mousavi, "Optimization of a multiple reservoir operations system using dynamic programming," *WIT Transactions on Ecology the Environment*, vol. 52, 2002.
- [9] H. Zheng, Y. Mei, K. Duan, and Y. Lin, "Parallel dynamic programming based on stage reconstruction and its application in reservoir operation," *International Journal of Networked Distributed Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 31-41, 2015.
- [10] J. Li, M. M. Moe Saw, S. Chen, and H. Yu, "Short-term optimal operation of baluchaung II hydropower plant in Myanmar," *Water*, vol. 12, no. 2, p. 504, 2020.
- [11] M. Heidari, V. T. Chow, P. V. Kokotović, and D. D. Meredith, "Discrete differential dynamic programming approach to water resources systems optimization," *Water Resources Research*, vol. 7, no. 2, pp. 273-282, 1971.
- [12] Z. Hairong, T. Zhengyang, L. Peng, R. Yufeng, and L. Zhiming, "Analysis of joint optimization scheduling rules for Jinsha River cascade and Yalong River cascade," in *Sustainable and Safe Dams Around the World/Un monde de barrages durables et sécuritaires*: CRC Press, 2019, pp. 1522-1528.
- [13] Y. Peng, X. Zhang, W. Xu, Y. Shi, and Z. Zhang, "An optimal algorithm for cascaded reservoir operation by combining the grey forecasting model with DDDP," *Water Science Technology: Water Supply*, vol. 18, no. 1, pp. 142-150, 2018.
- [14] C. Darwin, "On the origin of species, 1859," ed: Routledge London, 2016.